

УДК 551.521.1

О. П. Голик, асп., Р.В. Жесан, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Аналіз даних метеорологічних спостережень за інтенсивністю сонячної радіації в Кіровоградському регіоні з метою створення системи автоматичного керування автономним енергопостачанням на основі сонячно-вітрових установок

В статті проаналізовано дані метеоспостережень за сонячним випромінюванням, визначено закони розподілу інтенсивності сонячної радіації та за допомогою методу Монте-Карло проведено моделювання інтенсивності сонячного випромінювання в Кіровоградському регіоні.

відновлювані джерела енергії, інтенсивність сонячної радіації, автоматизація автономного енергопостачання, закон розподілу, моделювання, метод Монте-Карло, імовірнісний розподіл

Відомо, що в багатьох країнах, і в Україні також, внаслідок нестачі власних традиційних енергоресурсів, існує енергетична криза. Дуже гостро ця проблема стосується енергопостачання автономних споживачів. Використання відновлюваних джерел енергії є одним із шляхів вирішення цієї проблеми. Найрозповсюдженішим альтернативним джерелом енергії є сонячна енергія. Для автоматизації енергопостачання автономних споживачів за допомогою сонячних установок, необхідно мати дані про характер розподілу інтенсивності сонячного випромінювання в даній місцевості. Оскільки, на основі отриманих залежностей можна моделювати процес автоматизованого енергопостачання автономних споживачів.

З приводу використання нетрадиційних джерел енергії за останні роки опубліковано багато наукових робіт. Дослідження в цій галузі проводилися багатьма вченими. Серед них можна виділити: д.т.н. Кудря С. О., д.т.н. Резцов В. Ф., д.т.н. Каплун В. В., к.т.н. Кирпатенко І. М., к.т.н. Новаківський Є. В. та ін.

Метою статті є визначення імовірнісного закону розподілу інтенсивності сонячної радіації на основі даних метеорологічних спостережень в Кіровоградському регіоні.

На сьогоднішній момент об'єктивних даних для Кіровоградського регіону, які можна було б використовувати для моделювання процесу автоматизованого енергопостачання автономних споживачів на основі сонячної енергії, не існує.

Таким чином, виникає потреба у розв'язанні наступних задач:

- накопичення даних з інтенсивності сонячної радіації в регіоні;
- обробка даних та визначення імовірнісних характеристик розподілу інтенсивності сонячної радіації;
- визначення закону розподілу сонячної радіації.

Тому на кафедрі автоматизації виробничих процесів Кіровоградського національного технічного університету з 01.07.2008 р. розпочато експериментальні дослідження з використанням цифрової погодної метеостанції «Vantage Pro2TM» (виробник Davis Instruments Corp., Каліфорнія, США), яка має в своєму складі датчик сонячної радіації «Davis SR Sensor».

Відображення даних з метеостанції відбувається за допомогою консолі та програмного забезпечення «WeatherLink».

Метеорологічні дані надходять до станції постійно. Можливості програмного забезпечення дають змогу відображувати дані в різних інтервалах часу. Відображення даних з інтенсивності сонячної радіації в Кіровоградському регіоні наведено на рис. 1.

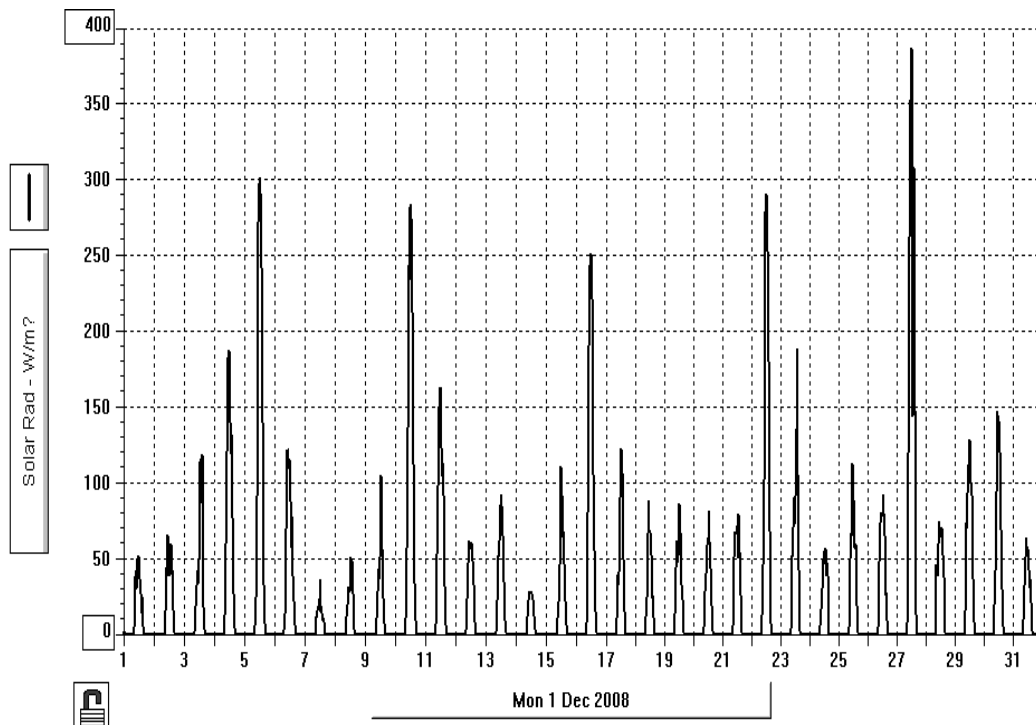


Рисунок 1 – Інтенсивність сонячної радіації в Кіровоградському регіоні у грудні 2008 року

Представлений на рис. 1 вигляд кривої інтенсивності сонячної радіації не дає змогу визначити імовірнісні характеристики розподілу сонячної енергії. Тому виникає потреба в обробці отриманих даних.

Для аналізу даних метеоспостережень за інтенсивністю сонячної радіації пропонується наступна методика, запропонована в [1].

Для аналізу було використано дані за півроку (осінь та зима 2008-2009 рр.). Метеорологічна станція виконує заміри інтенсивності сонячної радіації щохвилинно, а кожні 30 хвилин відображає середнє значення. Для подальшої обробки даних всі значення розподілимо таким чином, щоб визначити кількість повторень значень інтенсивності сонячної радіації протягом всього періоду дослідження кожні 30 хвилин. В нашому випадку відомо, що за даний період максимальною була інтенсивність сонячного випромінювання 820 Вт/м^2 , і вона повторилася лише один раз о 12 годині. На відміну, інтенсивність 0 Вт/м^2 повторювалась 181 раз кожні 30 хвилин з 20 години по 06.30 ранку, а о 12 годині вона жодного разу не повторювалась.

Обробка даних полягає в наступному:

1. Визначаємо загальну кількість вимірювань. В нашому випадку вона становить $N=8688$.
2. Сортуюмо результати вимірювань інтенсивності сонячної радіації за величиною з кроком $\Delta S=10 \text{ Вт/м}^2$. Тобто в групи з інтенсивністю 0 Вт/м^2 , 10 Вт/м^2 , 20 Вт/м^2 , ..., 820 Вт/м^2 .
3. Будуємо гістограму розподілу інтенсивності сонячної радіації. Для цього необхідно в кожній групі підрахувати кількість вимірювань $\Delta N(S)$. На рис. 2 представлена гістограма розподілу інтенсивності сонячної радіації.

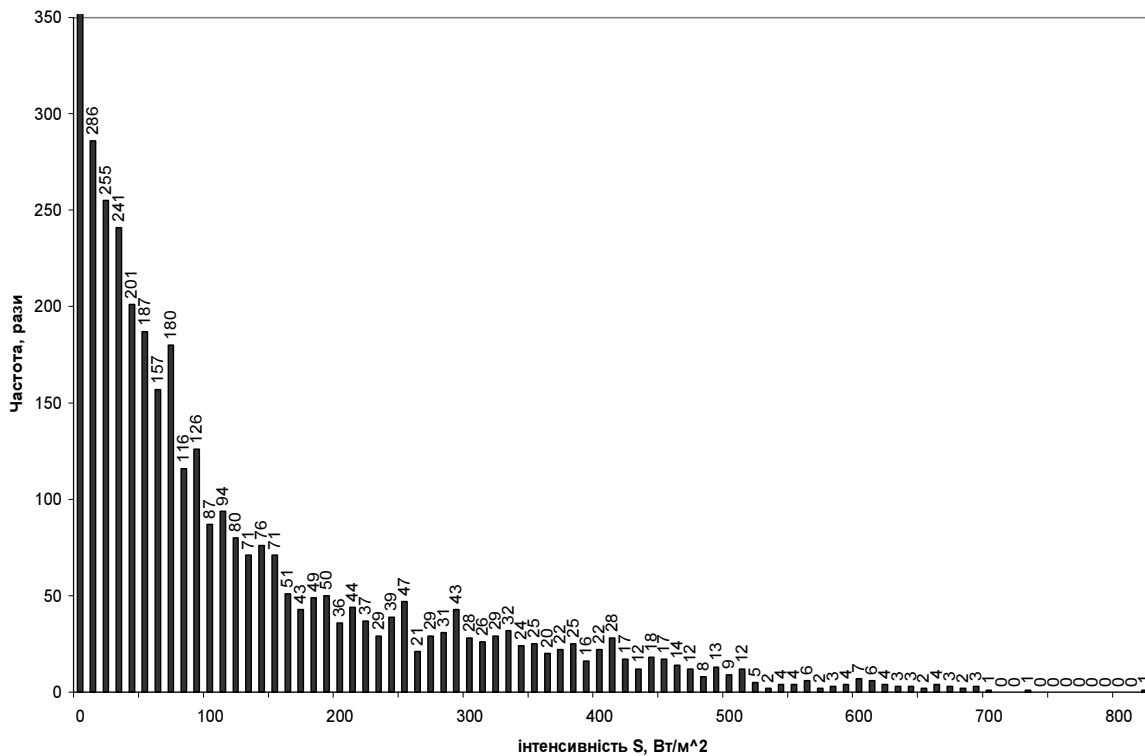


Рисунок 2 – Гістограма розподілу інтенсивності сонячної радіації

4. Розраховуємо щільність функції розподілу інтенсивності сонячного випромінювання, або іншими словами – кількість вимірювань в обраному інтервалі – $(\Delta N(S) / \Delta S)$.

5. Далі визначаємо імовірнісний розподіл інтенсивності сонячної радіації, за допомогою виразу [1]:

$$\Phi_S = \frac{\Delta N(S)}{N}. \quad (1)$$

Результати статистичної обробки інтенсивності сонячної радіації зведені в табл. 1.

Значення функції Φ_S зворотно пропорційне інтенсивністному інтервалу (див. табл. 1). Добуток $(\Phi_S \cdot \Delta S)$ можна інтерпретувати як частина року, протягом якої інтенсивність сонячної радіації має значення розташовані в інтервалі $(S + \Delta S)$. На рис. 3 представлена залежність Φ_S від S .

Аналіз базується на статистичній обробці результатів систематичних вимірювань інтенсивності сонячного випромінювання протягом шести місяців. Важливо, щоб була можливість аналітичного розрахунку техніко-економічних характеристик сонячних установок, тому для зменшення кількості вимірювань інтенсивності сонячної радіації, зручно мати аналітичні вирази функцій, які відповідали б експериментальним даним.

Таблиця 1 – Результати статистичної обробки вимірювань інтенсивності сонячної радіації

S, Вт/м ²	$\Delta N(S)$	$\Delta N(S) / \Delta S$	$\Phi_{S_s},$ (Вт/м ²) ⁻¹
0	5412	541,20	0,6229
10	286	28,60	0,0329
20	255	25,50	0,0294
30	241	24,10	0,0277
40	201	20,10	0,0231
50	187	18,70	0,0215
60	157	15,70	0,0181
70	180	18,00	0,0207
80	116	11,60	0,0134
90	126	12,60	0,0145
100	87	8,70	0,0100
110	94	9,40	0,0108
120	80	8,00	0,0092
130	71	7,10	0,0082
140	76	7,60	0,0087
150	71	7,10	0,0082
160	51	5,10	0,0059
170	43	4,30	0,0049
180	49	4,90	0,0056
190	50	5,00	0,0058
200	36	3,60	0,0041
210	44	4,40	0,0051
220	37	3,70	0,0043
230	29	2,90	0,0033
240	39	3,90	0,0045
250	47	4,70	0,0054
260	21	2,10	0,0024
270	29	2,90	0,0033
280	31	3,10	0,0036
290	43	4,30	0,0049
300	28	2,80	0,0032
310	26	2,60	0,0030
320	29	2,90	0,0033
330	32	3,20	0,0037
340	24	2,40	0,0028
350	25	2,50	0,0029
360	20	2,00	0,0023
370	22	2,20	0,0025
380	25	2,50	0,0029
390	16	1,60	0,0018
400	22	2,20	0,0025
410	28	2,80	0,0032

S, Вт/м ²	$\Delta N(S)$	$\Delta N(S) / \Delta S$	$\Phi_{S_s},$ (Вт/м ²) ⁻¹
420	17	1,70	0,0020
430	12	1,20	0,0014
440	18	1,80	0,0021
450	17	1,70	0,0020
460	14	1,40	0,0016
470	12	1,20	0,0014
480	8	0,80	0,0009
490	13	1,30	0,0015
500	9	0,90	0,0010
510	12	1,20	0,0014
520	5	0,50	0,0006
530	2	0,20	0,0002
540	4	0,40	0,0005
550	4	0,40	0,0005
560	6	0,60	0,0007
570	2	0,20	0,0002
580	3	0,30	0,0003
590	4	0,40	0,0005
600	7	0,70	0,0008
610	6	0,60	0,0007
620	4	0,40	0,0005
630	3	0,30	0,0003
640	3	0,30	0,0003
650	2	0,20	0,0002
660	4	0,40	0,0005
670	3	0,30	0,0003
680	2	0,20	0,0002
690	3	0,30	0,0003
700	1	0,10	0,0001
710	0	0,00	0,0000
720	0	0,00	0,0000
730	1	0,10	0,0001
740	0	0,00	0,0000
750	0	0,00	0,0000
760	0	0,00	0,0000
770	0	0,00	0,0000
780	0	0,00	0,0000
790	0	0,00	0,0000
800	0	0,00	0,0000
810	0	0,00	0,0000
820	1	0,10	0,0001
Разом	8688	868,80	1,0000

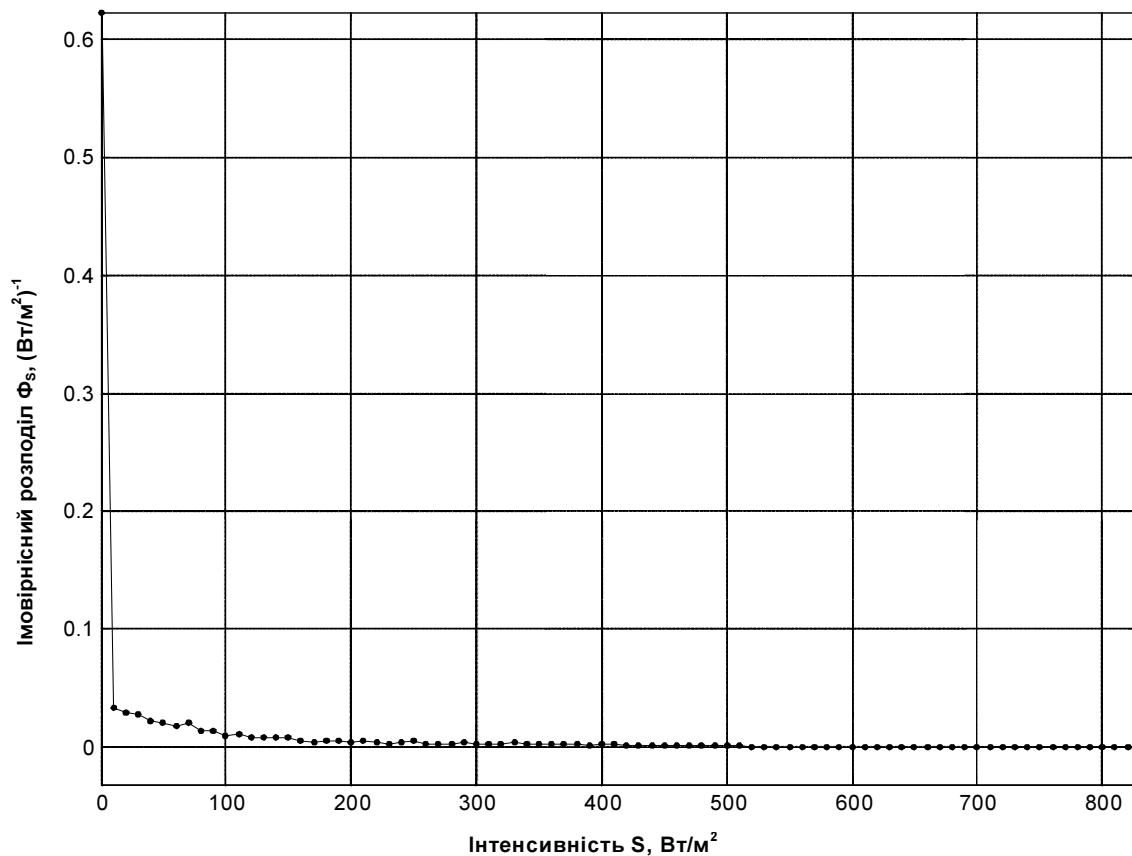


Рисунок 3 – Імовірнісний розподіл інтенсивності сонячної радіації

Для того щоб визначити закон розподілу інтенсивності сонячної радіації, скористаймося засобами програмного пакету Matlab[®]. Отже, за допомогою модуля «Toolboxes» Matlab[®], було визначено, що найкращою збіжністю результатів спостережень із розрахунковими величинами володіють:

а) експоненціальний закон:

$$\Phi_S = a \cdot \exp(b \cdot S); \quad (2)$$

б) розподіл Гауса:

$$\Phi_S = a_1 \cdot \exp\left[-\left(\frac{S-b_1}{c_1}\right)^2\right] + a_2 \cdot \exp\left[-\left(\frac{S-b_2}{c_2}\right)^2\right], \quad (3)$$

де a , b та c – параметри розподілу.

Для експоненційного розподілу параметри $a = 0.6228$ та $b = -0.2839$. Для розподілу Гауса параметри дорівнюють: $a_1 = 0.5944$, $b_1 = -4 \cdot 10^{-6}$; $c_1 = 4.672$; $a_2 = 0.03829$, $b_2 = -119.8$; $c_2 = 220.3$. Далі необхідно побудувати графіки аналітичних функцій Φ_S для умов Кіровограда, наведені на рис. 4 та рис. 5. Візуально помітно, що розподіл Гауса із знайденими параметрами більш точно відображає залежності, отримані експериментально.

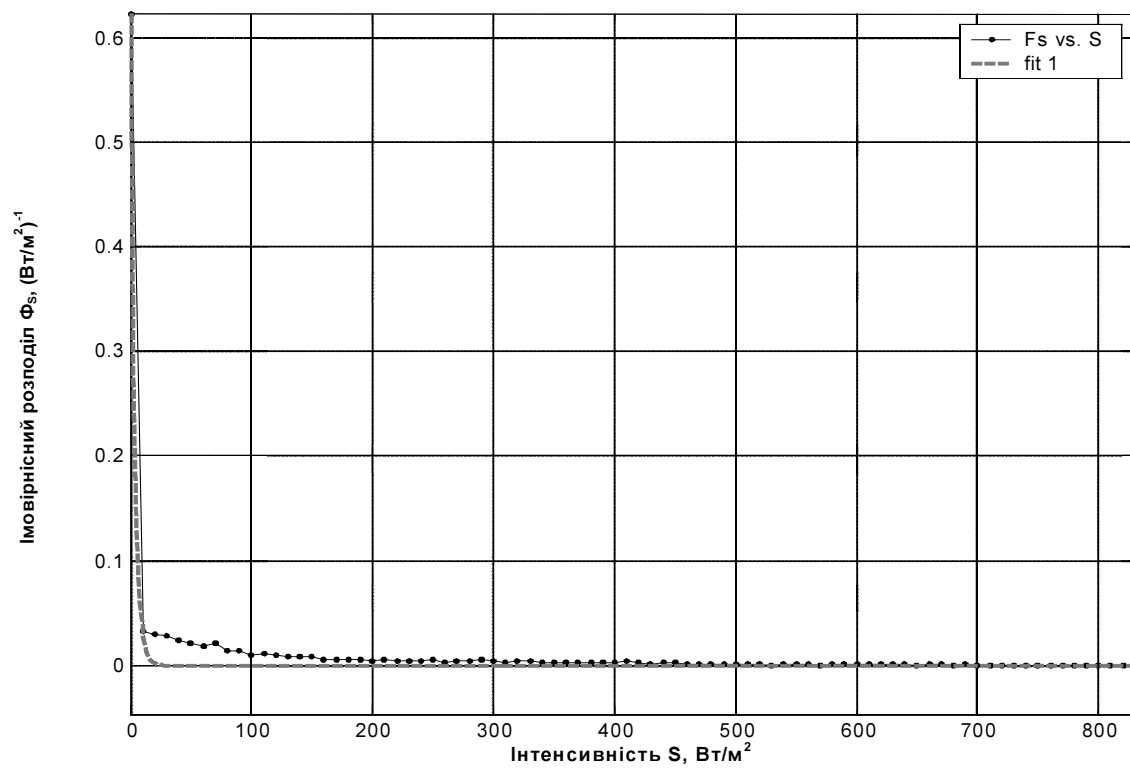


Рисунок 4 - Імовірнісний розподіл інтенсивності сонячного випромінювання, отриманий аналітично (експоненційний закон)

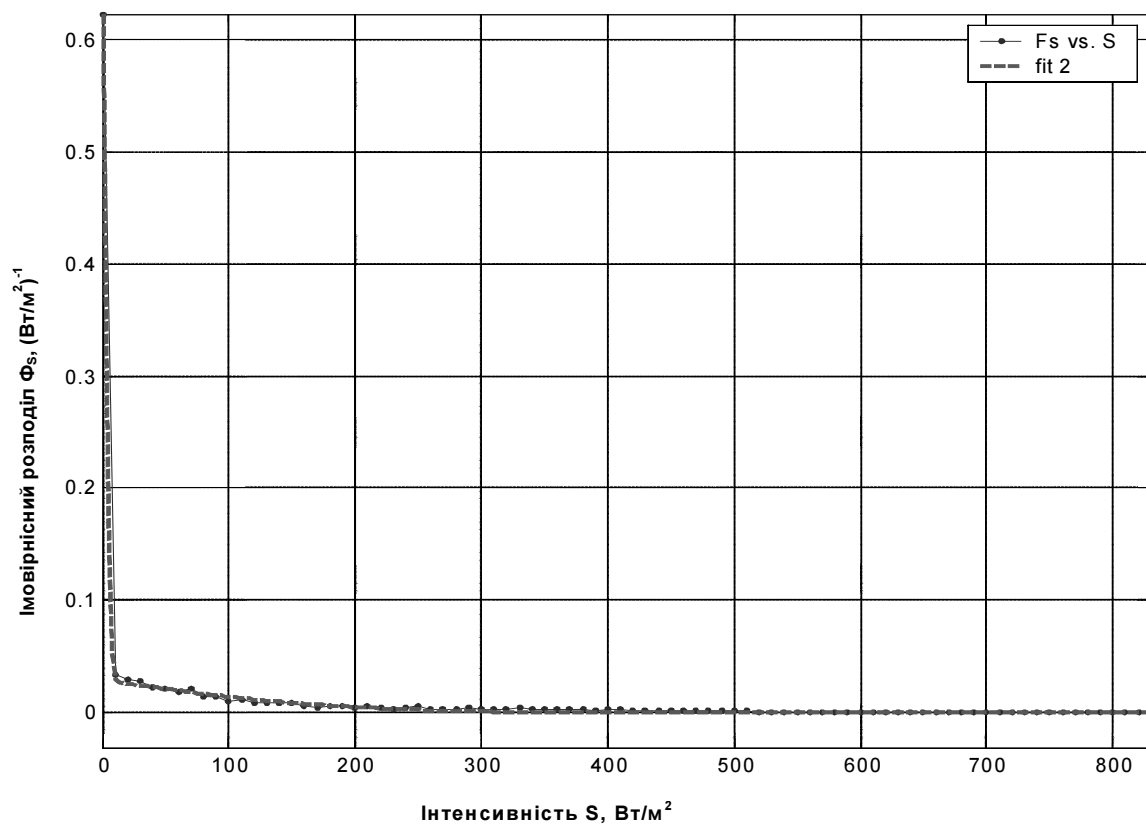


Рисунок 5 - Імовірнісний розподіл інтенсивності сонячного випромінювання, отриманий аналітично (розподіл Гауса)

Для моделювання роботи системи автономного енергопостачання та програмування мікроконтролера системи автоматичного керування процесом енергопостачання автономних споживачів з використанням сонячних установок, недостатньо мати дані, наведені в табл. 1 та на рис. 5. Оскільки, метою даного моделювання є оптимізація параметрів складових частин системи автоматизованого енергопостачання, яка повинна виконувати перерозподіл наявної енергії, в залежності від потреб споживача. Адже потреби споживача не завжди можуть співпадати з потенціалом сонячного випромінювання в конкретний момент часу. Тому, виникає необхідність у визначенні появи сонячного випромінювання з різною інтенсивністю.

Моделювання появи сонячної радіації з різною інтенсивністю було проведено із застосуванням методу Монте-Карло.

Метод Монте-Карло, це метод статистичного моделювання, базується на отриманні великої кількості реалізацій стохастичного процесу, який формується таким чином, щоб його імовірнісні характеристики співпадали з аналогічними величинами задачі, що вирішується [2].

Математичним підґрунтям методу є закон великих чисел, розроблений російським математиком Чебишевим. В загальному вигляді цей закон відображається таким чином:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P \left(\left| \frac{\sum x_i}{N} - M(x) \right| < \varepsilon \right) \rightarrow 1, \quad (4)$$

де P – імовірність складної події;

$M(x)$ – математичне сподівання випадкової величини;

$\frac{\sum x_i}{N}$ – середнє арифметичне спостережень значень;

N – кількість дослідів (реалізацій);

ε – нескінченно мале додатне число.

Підставивши значення випадкової величини (S) та відповідні їй імовірності в формулу математичного сподівання, було отримано:

$$M(x) = \sum_{i=1}^{83} x_i \cdot P = 53.2597. \quad (5)$$

Окремим випадком закону великих чисел є теорема Бернуллі, що аналітично записується так:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P \left(\left| \frac{m_i}{N} - p \right| < \varepsilon \right) \rightarrow 1, \quad (6)$$

де m_i – кількість появи події (частота);

$\frac{m_i}{N}$ – частість події;

p – імовірність події A .

Закон великих чисел (теорема Чебишева) та теорема Бернуллі говорять, що при проведенні досить великої кількості випробувань отримані статистичні характеристики (середні значення) можуть розглядатись як істинні. Вказане положення складає

математичну основу методу статистичного моделювання, що носить назву методу Монте-Карло [3].

Розглянутий щойно метод було застосовано для моделювання величин інтенсивності сонячної радіації у різні місяці за півроку. Оскільки всі дані метеорологічних вимірювань були розсортовані у групи із кроком 10 Вт/м^2 , було використано метод Монте-Карло для дискретної величини. Якщо дискретна величина задана достатньо довгим рядом розподілу і якщо при цьому необхідно, щоб результат обчислень мало відрізнявся від істинного значення, то в цьому випадку обчислення проводять за допомогою персонального комп'ютера. Задача суттєво спрощується, оскільки нами було виведено закон розподілу інтенсивності сонячної радіації у Кіровоградському регіоні (див. рис. 5).

Було побудовано інтегральну характеристику імовірності за нашими аналітичними даними, яку наведено на рис. 6.

Після цього за допомогою генератора випадкових чисел, було отримано яке-небудь число, яке звірялося з інтегральною характеристикою. Далі йому присвоювалось певне значення модельованій нами інтенсивності сонячної радіації, в залежності від того, в який інтервал потрапляє згенероване випадкове число. Наприклад, якщо воно належить інтервалу $[0,7129; 0,736]$, приймається інтенсивність сонячного випромінювання 40 Вт/м^2 ; якщо ж випадкове число належить інтервалу $[0,9999; 1,0000]$ – 820 Вт/м^2 і т.д. При цьому проведення 1000 випробувань дає абсолютну похибку близько 2%. Із збільшенням кількості випробувань похибка прямує до 0.

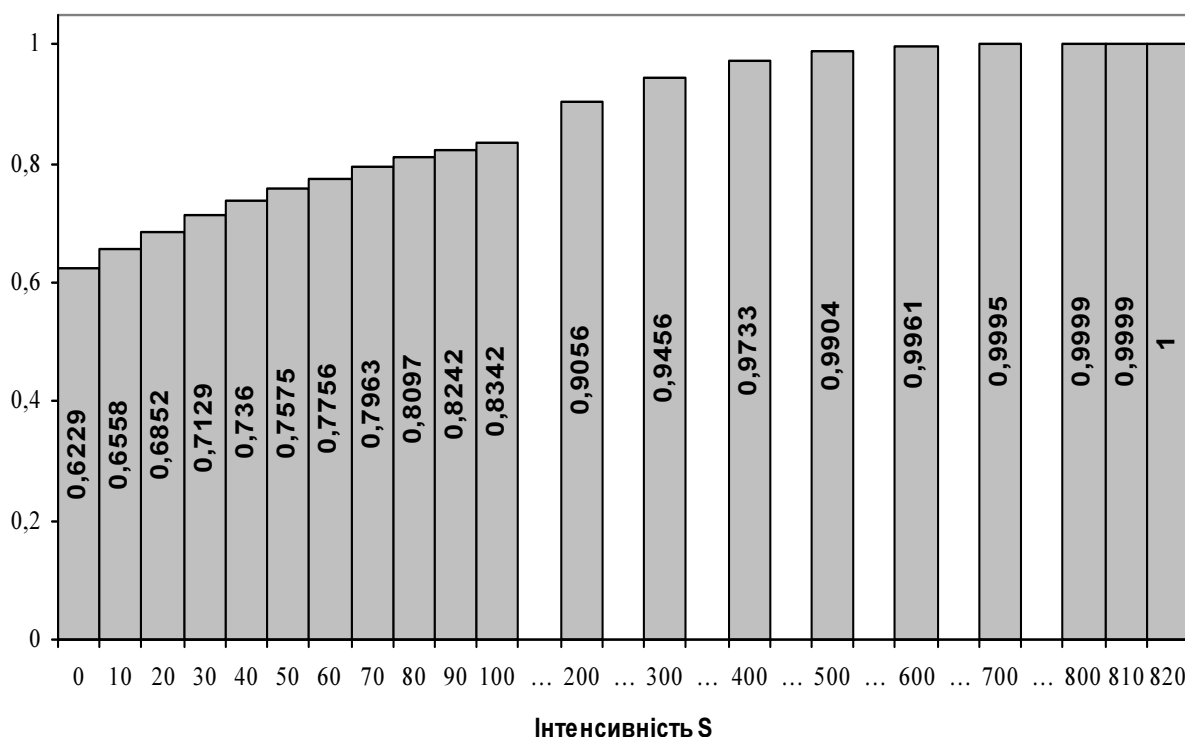


Рисунок 6 – Інтегральна характеристика імовірності

Висновки. В ході проведеного аналізу даних за півроку метеоспостережень в умовах Кіровоградського регіону були вперше одержані імовірнісні характеристики та закони розподілу сонячного потенціалу.

Визначено коефіцієнти аналітичних виразів функцій, які відповідають експериментальним даним. Найкращою збіжністю результатів спостережень із розрахунковими величинами володіє розподіл Гауса.

Дану методику можна використовувати для одержання характеристик та законів розподілу інтенсивності сонячного випромінювання на основі даних метеоспостережень для умов інших регіонів та місцевостей.

Наявність статистичних закономірностей, одержаних на основі регулярних метеоспостережень в конкретній місцевості суттєво спрощує методику визначення енергопотенціалів та обчислення техніко-економічних показників системи автоматизованого енергопостачання автономних споживачів із використанням відновлюваних джерел енергії і дозволяє провести комп'ютерне моделювання роботи останньої.

Оскільки для точної оцінки сонячного потенціалу необхідні багаторічні спостереження, результати розрахунку будуть підкореговані після накопичення даних метеорологічних вимірювань тривалий період.

Список літератури

1. Твайдел Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат. 1990. – 392 с.: ил.
2. Завадский Ю.В. Моделирование случайных процессов. – М.: ВИНТИ, 1974. – 100 с.
3. Жесан Р. В. Автоматизація управління автономним енергопостачанням з використанням відновлювальних джерел енергії в умовах селянського (фермерського) господарства: Дис... канд. техн. наук: 05.13.07 / Кіровоградський державний технічний університет. – 2001. – 207 с.

В статье проанализировано данные метеонаблюдений за солнечным излучением, определены законы распределения интенсивности солнечной радиации и с помощью метода Монте-Карло выполнено моделирование интенсивности солнечного излучения в Кировоградском регионе.

In the article information of aerography is analysed after a sun radiation, the laws of distribution of intensity by sun radiation are certain and by the method of Monte Carlo the design of intensity by sun radiation is executed in the Kirovograd region.